УДК 629.5.064+665.7.038.1:665.753.4
EDN: WIICZC

Е.С. Губин, И.В. Швецов, Г.С. Юр, А.С. Дмитриев
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта», Новосибирск, Россия

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ОТСЕКА ДИЗЕЛЯ Ч 10,5/12 НА ТОПЛИВЕ С ГАЗОВОЙ ВОДОРОДОСОДЕРЖАЩЕЙ ПРИСАДКОЙ

Объект и цель научной работы. Объекты исследования – получение и применение присадок водорода и водородосодержащих газов к воздуху. Использование водорода в качестве присадки к дизельному топливу (ДТ) до настоящего времени не изучалось. Целями являются разработка, изготовление и испытание устройства для получения присадки водорода в ДТ и исследование характеристик дизеля при работе на модифицированном топливе.

Материалы и методы. Исследования проводились на спроектированной и изготовленной экспериментальной установке для получения газовой присадки, растворенной в ДТ, на основе конструкции роторно-пульсационного аппарата (РПА). Сделан хроматографический анализ химического состава растворенного в топливе газа. Проведены сравнительные испытания отсека дизеля Ч 10,5/12 по нагрузочной характеристике на топливе с газовой водородосодержащей присадкой.

Основные результаты. Полученный из дизельного топлива газ проанализирован на хроматографе. Состав газовой смеси показал, что наряду с широким спектром различных легких углеводородов в смеси присутствует этилен. Он является промотором, инициирующим химические реакции. Добавление промоторов в небольших количествах к топливу значительно ускоряет процесс горения. Максимальное содержание легкой газовой фазы, содержащейся в модифицированном топливе, накапливается в течение 7,5 мин. с начала обработки. С увеличением времени обработки происходит процесс удаления газа из топлива, и плотность модифицированного топлива увеличивается. Следовательно, оптимальное время обработки ДТ на экспериментальной установке для получения максимального количества водородосодержащей присадки – 7,5 мин.

Заключение. Сравнительные испытания дизельного двигателя на дистиллятном топливе и топливе с водородосодержащей присадкой показали уменьшение концентрации нормируемых загрязняющих веществ, содержащихся в отработавших газах. Для сокращения расхода топлива с использованием водородосодержащей присадки необходимо дополнительно провести НИР по оптимизации характеристики тепловыделения. Дизельное топливо с водородосодержащей присадкой рекомендуется к практическому использованию в судовых энергетических установках.

Ключевые слова: дизельное топливо, кавитация, газификация, водородосодержащая присадка, хроматографический анализ газа, нагрузочная характеристика дизеля, выбросы загрязняющих веществ.
Авторы заявляют об отсутствии возможных конфликтов интересов.

UDC 629.5.064+665.7.038.1:665.753.4
EDN: WIICZC

E.S. Gubin, I.V. Shvetcov, G.S. Yur, A.S. Dmitriev
Siberian State University of Water Transport, Novosibirsk, Russia

TEST RESULTS OF COMPARTMENT CH 10.5/12 ON DIESEL FUEL WITH GAS HYDROGEN ADDITIVE

Object and purpose of research. The object of the study is the production and use of additives of hydrogen and hydrogen-containing gases to air. The use of hydrogen as a diesel fuel additive has not been studied to date. The purpose of the work is to develop, manufacture and test a device for producing a hydrogen additive in diesel fuel and to study the characteristics of a diesel engine when operating on modified fuel.

Для цитирования: Губин Е.С., Швецов И.В., Юр Г.С., Дмитриев А.С. Результаты испытаний отсека дизеля Ч 10,5/12 на топливе с газовой водородосодержащей присадкой. Труды Крыловского государственного научного центра. 2025; 1(411): 135–142.

For citations: Gubin E.S., Shvetcov I.V., Yur G.S., Dmitriev A.S. Test results of compartment Ch 10.5/12 on diesel fuel with gas hydrogen additive. Transactions of the Krylov State Research Centre. 2025; 1(411): 135–142 (in Russian).

Materials and methods. The studies were carried out on a designed and manufactured experimental installation for the production of a gas additive dissolved in diesel fuel, based on the design of a rotary pulsation apparatus (RPA). A chromatographic analysis of the chemical composition of the gas dissolved in the fuel was carried out. Comparative tests of the Ch 10.5/12 diesel compartment were carried out according to the load characteristics on fuel with a gas hydrogen-containing additive.

Main results. The gas obtained from diesel fuel was analyzed on a chromatograph. The composition of the gas mixture showed that, along with a wide range of various light hydrocarbons, ethylene gas was present in the mixture. It is a promoter that initiates chemical reactions. Adding promoters in small quantities to the fuel significantly speeds up the combustion process. The maximum content of the light gas phase contained in the modified fuel accumulates within 7.5 minutes from the start of processing. Further, with increasing processing time, the process of removing gas from the fuel occurs, and the density of the modified fuel increases. Therefore, the optimal time for processing diesel fuel in an experimental installation to obtain the maximum amount of hydrogen-containing additive is a time of 7.5 minutes.

Conclusion. Comparative tests of a diesel engine running on distillate fuel and fuel with a hydrogen-containing additive showed a decrease in the concentration of regulated pollutants contained in exhaust gases. To reduce fuel consumption using a hydrogen-containing additive, it is necessary to additionally carry out research to optimize the heat release characteristics. Diesel fuel with a hydrogen-containing additive is recommended for practical use in ship power plants.

Keywords: diesel fuel, cavitation, gasification, hydrogen-containing additive, chromatographic gas analysis, diesel load characteristics, pollutant emissions.

The authors declare no conflicts of interest.

Введение

Introduction

Водород является одним из наиболее эффективных и экологически чистых видов топлива. При его сжигании не образуются вредные выбросы и получается только вода.

Как топливо для двигателей внутреннего сгорания, водород начал использоваться более 100 лет назад [1]. Под руководством Е.А. Чудакова были проведены испытания одноцилиндрового двигателя при работе на водороде [2]. Водород также можно использовать в виде присадок к воздуху и топливу. При этом не требуется внесение значительных изменений в конструкцию серийно выпускаемых дизелей.

Исследователями отмечено, что применение микродобавок водорода к топливу позволяет значительно улучшить экологические характеристики дизельного двигателя [3, 4]. Сокращение концентрации оксидов азота в отработавших газах при использовании присадки водорода объясняется следующими явлениями:

1. При горении распыленного топлива в камере сгорания дизеля в присутствии водорода происходит размывание высокотемпературных областей, в которых происходит окисление азота, содержащегося в воздухе.
2. Водород восстанавливает образовавшиеся в процессе горения оксиды азота, превращая их в молекулярный азот и воду.

Наддув дизеля с использованием 10–15 % водородосодержащей смеси позволяет сократить вредные выбросы до 5–7 раз [5].

Материалы и методы испытания

Materials and methods of testing

Проведенные нами исследования показали, что осуществление наддува водородосодержащим газом судового дизеля 6ЧНСП 16/22,5 снижает концентрацию оксидов азота, содержащихся в отработавших газах на 180–200 мг/м^3.

При подаче водорода в количестве 5 % от массы дизельного топлива во всасывающий коллектор двигателя 8ЧН 13/14 выбросы оксидов азота уменьшились в 2–4 раза, а дымность – на 30 % [6]. Водород и водородосодержащие газы в смеси с воздухом активируют воспламенение, повышают скорость и полноту сгорания топлива в дизелях. Для повышения скорости сгорания керосина в реактивных двигателях применяется газовая смесь, содержащая 47,9 % водорода [7].

Вышеперечисленные работы посвящены исследованиям получения и применения присадок водорода и водородосодержащих газов к воздуху. Использование водорода в качестве присадки к дизельному топливу до настоящего времени не изучалось.

В данной работе осуществлены разработка, изготовление и испытание устройства для получения присадки водорода в дизельном топливе, а также исследование характеристик дизеля при работе на модифицированном топливе.

На кафедре судовых энергетических установок ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта» (СГУВТ) была спроектирована, изготовлена и прошла успешные испытания экспериментальная установка для получения

газовой водородосодержащей присадки в дизельном топливе.

В связи с тем, что Правилами Российского квалификационного общества на судах запрещено использование и хранение топлив с температурой вспышки менее 61 °С, получение и растворение водорода в дизельном топливе следует производить без его предварительного нагрева и хранения.

Для осуществления газификации жидкого топлива использован процесс кавитации. Известно, что при пульсациях давления в жидкости происходит схлопывание находящихся в ней парогазовых пузырьков. Схлопывание может быть частичным или полным. При полном схлопывании пузырька температура внутри пузырька достигает 10 000 К, а давление превышает 100 МПа [8, 9].

Осуществить процесс разрушения молекул жидкого углеводородного сырья и его газификацию возможно при неполном схлопывании парогазовых пузырьков.

Результаты выполненных нами теоретических исследований показали, что для достижения температуры внутри парогазового пузырька более 1000 К, которая необходима для перевода дизельного топлива в газообразное состояние, нужно обеспечить амплитуду пульсаций в корпусе установки более 0,1 МПа [10]. Это позволит при незначительных затратах энергии насыщать дизельное топливо образовавшимися в процессе кавитации газами.

За основу устройства, предназначенного для получения водородосодержащей присадки в дизельном топливе, была принята известная конструкция роторно-пульсационного аппарата (РПА) [11].

Анализ показал, что в известных конструкциях РПА достичь амплитуды пульсаций давления, необходимой для газификации углеводородного сырья, не представляется возможным. Для этого необходимо повысить гидростатическое давление внутри корпуса [11]. Поэтому к известной конструкции роторно-пульсационного аппарата были дополнительно изготовлены и присоединены еще две ступени.

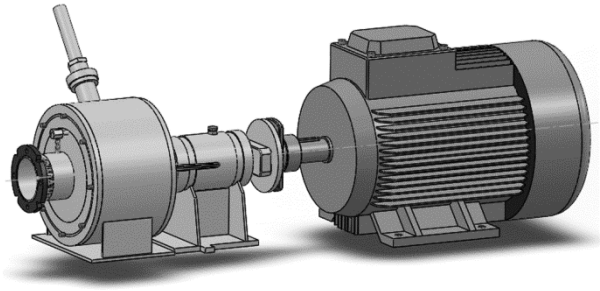

Рис. 1. Общий вид экспериментальной установки
Fig. 1. General view of the experimental setup

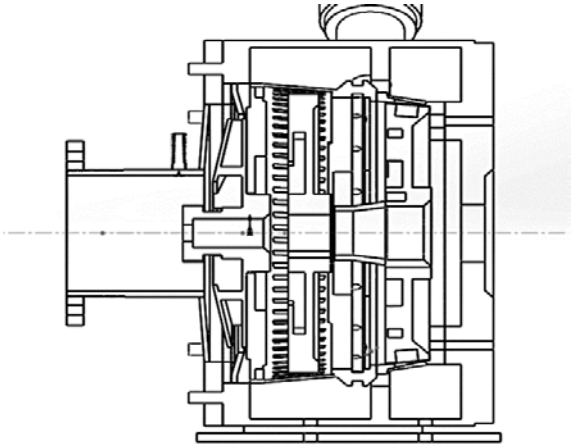

Рис. 2. Принципиальная схема установки
Fig. 2. Schematic diagram of the device

На рис. 1 изображен общий вид установки для осуществления процесса газификации ДТ с использованием процесса кавитации, на рис. 2 приведена ее принципиальная схема, а на рис. 3 изображены отдельные детали.

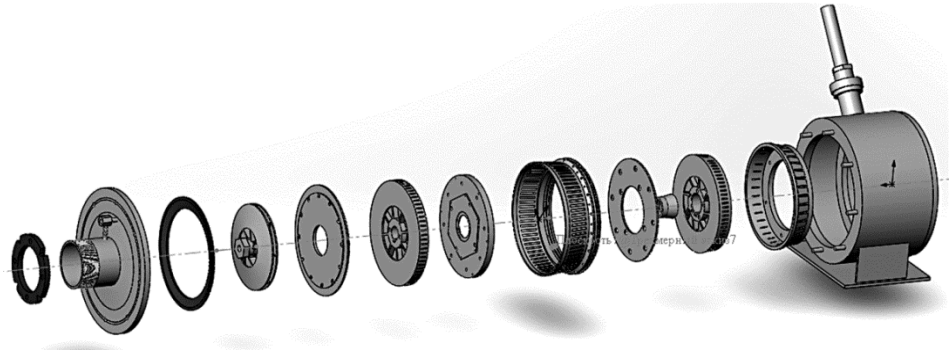

Рис. 3. Общий вид отдельных деталей
Fig. 3. General view of individual parts

Как показали проведенные испытания, экспериментальная установка работоспособна, безопасна в эксплуатации, обслуживании и может быть рекомендована для размещения на судах.

Анализ основных результатов измерений

Analysis of main measurement results

Полученный из дизельного топлива газ был направлен в испытательную лабораторию физико-химических исследований органических веществ горных пород, газов, нефтей, конденсатов (ЛФХИ) Сибирского научно-исследовательского института геологии, геофизики и минерального сырья (АО «СНИИГГ и МС»). Исследования проводились на сертифицированном хроматографе марки HP 6890 по методике СТО ИГ – 026-11.

В табл. 1 показаны результаты выполненного хроматографического анализа состава газовой смеси. В первой колонке приведен полный состав газа, во второй – сделаны расчеты, в которых исключен азот, находящийся в воздухе. Это связано с тем, что при отборе пробы газа не было возможности полностью удалить воздух, находящийся в корпусе установки. Газ гелий необходим для работы хроматографа.

Из приведенных данных видно, что наряду с широким спектром различных легких углеводородов в смеси присутствует газ этилен. Он относится

Таблица 1. Химический состав газа, полученного в результате кавитации

Table 1. Cavitation gas chemistry

		Дизельное топливо ГОСТ 305–2013			
		Полный состав газа		Пересчет на исключение азота	
№	Название	Концентрация	Ед. изм.	Концентрация	Ед. изм.
1	Гелий	0,003465	% об.	0,013816144	% об.
2	Водород	0,056353		0,224723125	
3	Кислород	24,47704		97,60952838	
4	Азот	69,34366		0	
5	CO_2	0,309813		1,235471534	
6	Метан	0,001185		0,004723552	
7	Этан	2,54E-05		0,000101159	
8	Этилен	2,40E-05		9,58192E-05	
9	Пропан	1,00E-05		4,00295E-05	
10	Пропилен	1,46E-05		5,82754E-05	
11	Изобутан	0,000143355		0,000571672	
12	Н-бутан	0,001080011		0,004306869	
13	Изобутен	0		0	
14	Неопентан	4,14E-05		0,000165273	
15	Изопентан	0,009888482		0,03943328	
16	Н-пентан	0,007508532		0,029942518	
17	Изомеры гексана	0,045611199		0,181888306	
18	Н-гексан	0,016899558		0,067392043	
19	Изомеры гептана	0,113695737		0,453395776	
20	Н-гептан	0,030573874		0,121922474	
21	Бензол	0,003115444		0,012423765	

Таблица 2. Плотность базового дизельного топлива ГОСТ 305–2013 и обработанного топлива
Table 2. Density of basic diesel fuel GOST 305–2013 and processed fuel

Время, ч. / Наименование	В течение 10 мин. после обработки	Через 1 ч. после обработки
1. Базовое дизельное топливо	0,848 г/см^3	0,848 г/см^3
2. Топливо, обработанное в течение 5 мин.	0,846 г/см^3	0,846 г/см^3
3. Топливо, обработанное в течение 7,5 мин.	0,829 г/см^3	0,847 г/см^3
4. Топливо, обработанное в течение 10 мин.	0,834 г/см^3	0,847 г/см^3
5. Топливо, обработанное в течение 12 мин.	0,840 г/см^3	0,848 г/см^3

к классу низших олефинов и является промотором, инициирующим химические реакции. Добавление промоторов в небольших количествах к топливу значительно ускоряет процесс горения [7].

В табл. 2 приведены результаты измерения плотности дизельного топлива, обработанного на экспериментальной установке с использованием процесса кавитации.

Из приведенных в табл. 2 сведений видно, что максимальное содержание легкой газовой фазы, содержащейся в модифицированном топливе, накапливается в течение 7,5 мин. с начала обработки. Далее, с увеличением времени обработки, происходит процесс удаления газа из топлива и плотность модифицированного топлива увеличивается. Следовательно, оптимальное время обработки дизельного топлива на экспериментальной установке для получения максимального количества водородосодержащей присадки – 7,5 мин.

На рис. 4 представлены результаты измерения количества испарившегося обработанного топлива в течение 4 сут. Взвешивание производилось электронными весами марки ВК-300 с точностью 0,005 г. Первоначальная масса образцов топлива (без учета веса колбы) составляла 200 г. Проба топлива обрабатывалось в установке в течение 7,5 мин.

Из рис. 4 видно, что наиболее интенсивно процесс испарения происходил в течение 24 ч. За это время потеря веса составила около 0,1 %. Далее процесс испарения газа из модифицированного топлива продолжался в течение двух недель. После того как находящийся в топливе водородосодержащий газ улетучился в атмосферу, мутный непрозрачный оттенок исчез и топливо стало таким же прозрачным, как и базовое дизельное топливо.

Сравнительные испытания проводились на отсеке дизеля 2Ч10,5/12 (Д 21). На рис. 5 приведен общий вид отсека с электрическим нагрузочным устройством.

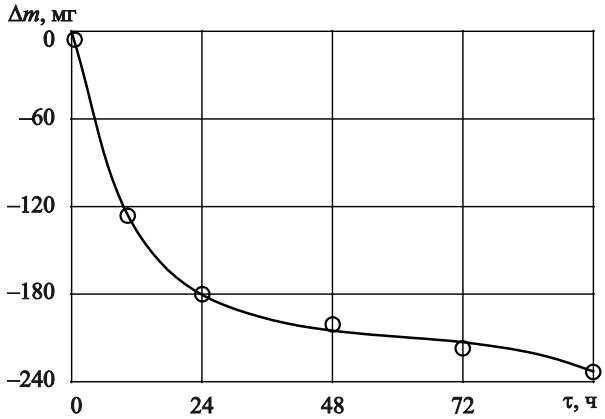

Рис. 4. Динамика испарения водородосодержащего газа из модифицированного топлива в течение 96 ч.

Fig. 4. Dynamics of evaporation of hydrogen-containing gas from modified fuel over 96 hours

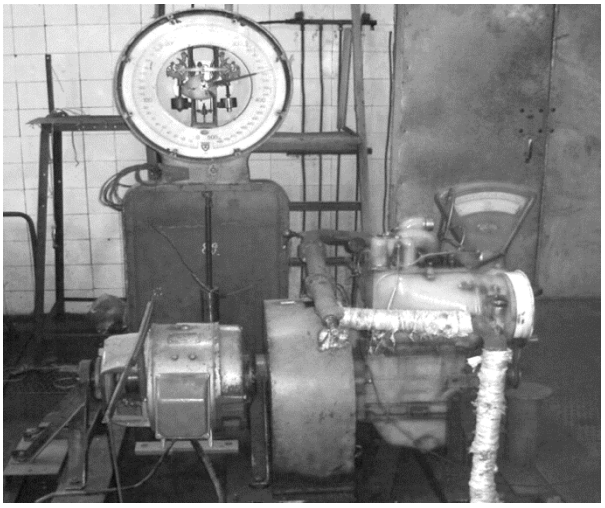

Рис. 5. Экспериментальная установка для исследования характеристик дизеля

Fig. 5. Experimental setup for studying diesel characteristics

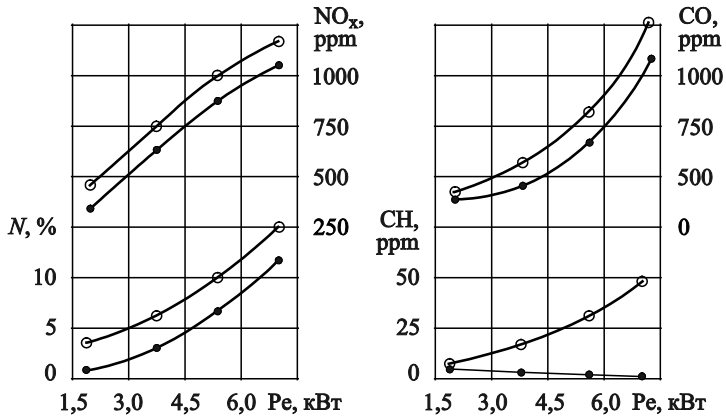

Рис. 6. Нагрузочные характеристики дизеля Ч 10,5/12 при частоте вращения коленчатого вала, равной 1500 мин.$^{-1}$

Fig. 6. Load characteristics of diesel engine Ch 10.5/12 at a crankshaft speed of 1500 min^{-1}

Топливо с газовой присадкой приготавливалось непосредственно перед подачей его в двигатель в течение 7,5 мин. Срок использования полученного модифицированного топлива не превышал 30 мин.

На рис. 6 представлены результаты сравнительных испытаний отсека на базовом дистиллятном дизельном топливе ГОСТ 305–2013 и топливе, обработанном на экспериментальной установке.

Здесь приняты следующие обозначения: ○ – базовое дистиллятное дизельное топливо; ● – модифицированное дизельное топливо с газовой водородосодержащей присадкой; NO_x – концентрация оксидов азота, ppm; *N* – дымность отработавших газов по шкале Hartrige, %; CO – концентрация оксида углерода, ppm; CH – концентрация суммарных углеводородов, ppm.

Из приведенных графиков видно, что при переводе дизеля с базового дистиллятного дизельного топлива на модифицированное топливо с газовой водородосодержащей присадкой:

- концентрация оксидов азота уменьшилась на 79–121 ppm;
- концентрация монооксида углерода уменьшилась на 96–144 ppm;
- концентрация суммарных углеводородов уменьшилась на 7–45 ppm;
- дымность отработавших газов уменьшилась на 3,7–6,4 % по шкале Hartrige.

Удельный эффективный расход топлива увеличился не более на 1–3 г/(кВт·ч), что находится в пределах ошибки измерений, используемых при проведении исследований приборов.

Для сокращения расхода топлива с использованием водородосодержащей присадки необходимо дополнительно провести НИР по оптимизации характеристики тепловыделения.

Заключение

Conclusion

Спроектирована и изготовлена экспериментальная установка для получения газовой водородосодержащей присадки в дизельном топливе. Для газификации топлива использовался процесс кавитации. Установка безопасна в эксплуатации и обслуживании.

Проведен хроматографический анализ полученного газообразного продукта.

Сравнительные испытания отсека на дистиллятном топливе и топливе с водородосодержащей присадкой показали уменьшение концентрации нормируемых загрязняющих веществ, содержащихся в отработавших газах.

Дизельное топливо с водородосодержащей присадкой рекомендуется к практическому использованию в судовых энергетических установках.

Список использованной литературы

1. Альтернативные топлива для двигателей внутреннего сгорания / *А.А. Александров, И.А. Архаров, В.В. Багров* [и др.]. Москва : НИЦ «Инженер» : Онико-М, 2012. 790 с. (Банк знаний XXI века).
2. Технологии промышленного получения водорода и его использования в транспортных энергетических установках / *А.И. Гайворонский, М.В. Гордин, В.А. Марков, Ф.С. Карпец* // Двигателестроение. 2022. № 1(287). С. 3–20.
3. *Abn-Jrai A., Tsolakis A., Megaritis A.* The influence of H_2 and CO on diesel engine combustion characteristics, exhaust gas emissions and after treatment selective catalytic NO_x reduction // International Journal of Hydrogen Energy. 2007. Vol. 32, No. 15. P. 3565–3571. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2007.02.014.
4. Перспективы применения микродобавок водорода для улучшения экологических показателей дизельного

двигателя / *А.Н. Авраменко, А.М. Левтеров, В.Н. Бганцев* [и др.] // Journal of Mechanical Engineering. 2019. Т. 22, № 1. С. 70–75.

5. *Новиков Л.А.* Основные направления создания малотоксичных транспортных двигателей // Двигателестроение. 2002. № 2. С. 23–27.
6. *Матиевский Д.Д., Свистула А.Е.* Повышение экономичности и снижение вредных выбросов дизеля воздействием на рабочий процесс присадки газа к топливу // Вестник Алтайского гос. техн. ун-та. 2000. № 2. С. 122–128.
7. Применение синтез-газа для интенсификации горения керосина в сверхзвуковом потоке / *П.К. Третьяков, А.В. Тупикин, А.Л. Куранов* [и др.] // Физика горения и взрыва. 2020. Т. 56, № 5. С. 45–58. DOI: 10.15372/FGV20200504.
8. *Маргулис М.А.* Звукохимические реакции и сонолюминисценция. Москва : Химия, 1986. 285 с.
9. *Розенберг Л.Д.* Кавитационная область // Физика и техника мощного ультразвука. Кн. 2 : Мощные ультразвуковые поля. Москва : Наука. 1968. Ч. 6. С. 221–266.
10. Математическая модель для определения амплитуды пульсаций давления при захлопывании газового пузырька, находящегося в безграничной осциллирующей жидкости / *Д.С. Тельцов, И.В. Швецов, А.Е. Толмачев* [и др.] // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2023. № 1. С. 111–113.
11. *Промтов М.А.* Пульсационные аппараты роторного типа : Теория и практика. Москва : Машиностроение, 2001. 258, [1] с.

References

1. Alternative fuels for internal combustion engines / *A.A. Alexandrov, I.A. Arharov, V.V. Bagrov* [et al.] // Research Center „Engineer“ LLC „Oniko-M“. 2012. 790 p. (*in Russian*).
2. Technology of industrial hydrogen production and its use in transport power plants / *A.I. Gaivoronsky, M.V. Gordin, V.A. Markov, F.S. Karpets* // Dvigatelestroyeniye (Engines Construction). 2022. No. 1(287). P. 3–20 (*in Russian*).
3. *Abn-Jrai A., Tsolakis A., Megaritis A.* The influence of H_2 and CO on diesel engine combustion characteristics, exhaust gas emissions and after treatment selective catalytic NO_x reduction // International Journal of Hydrogen Energy. 2007. Vol. 32, No. 15. P. 3565–3571. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2007.02.014.
4. Prospects for the use of hydrogen microadditives to improve the environmental performance of a diesel engine / *A.N. Avramenko, A.M. Levterov, V.N. Bgantsev* [et al.] // Journal of Mechanical Engineering. 2019. Vol. 22, No. 1. P. 70–75 (*in Russian*).
5. *Novikov L.A.* Main directions of creating low-toxic transport engines // Dvigatelestroyeniye (Engines Construction). 2002. No. 2. P. 23–27 (*in Russian*).
6. *Matievsky D.D., Svistula A.E.* Increasing efficiency and reducing harmful emissions of diesel engines by the influence of gas additives on fuel on the working process // Bulletin of Altay State Technical Univercity. 2000. No. 2. P. 122–128 (*in Russian*).
7. Application of synthesis gas to intensify the combustion of kerosene in a supersonic flow / *P.K. Tretyakov, A.V. Tupikin, A.L. Kuranov* [et al.] // Physics of combustion and explosion. 2020. Vol. 56. No. 5. P. 45–58. DOI: 10.15372/FGV20200504 (*in Russian*).
8. *Margulis M.A.* Sound chemical reactions and sonoluminescence. Moscow : Chemistry. 1986. 285 p. (*in Russian*).
9. *Rosenberg L.D.* Cavitation region. Powerful ultrasonic fields. Moscow : Nauka, 1968. Part 6. P. 221–266 (*in Russian*).
10. Mathematical model for determining the amplitude of pressure pulsations during the collapse of a gas bubble located in a boundless oscillating liquid / *D.S. Teltsov, I.V. Shvetsov, A.E. Tolmachev* [et al.] // Scientific problems of transport in Siberia and the Far East. 2023. No. 1. P. 111–113 (*in Russian*).
11. *Promtov M.A.* Rotary-type pulsation device: Theory and practice. Moscow : Machine Engineering, 2001. 258, [1] p. (*in Russian*).

Сведения об авторах

Губин Евгений Сергеевич, к.т.н., доцент кафедры судовых энергетических установок ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта». Адрес: 630099, Россия, Новосибирск, ул. Щетинкина, 33. E-mail: e.v.gubin@nsawt.ru.

Швецов Игорь Витальевич, учебный мастер кафедры судовых энергетических установок ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта». Адрес: 630099, Россия, Новосибирск, ул. Щетинкина, 33. E-mail: ksdvs@nsawt.ru.

Юр Геннадий Сергеевич, д.т.н., профессор кафедры судовых энергетических установок, профессор ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта». Адрес: 630099, Россия, Новосибирск, ул. Щетинкина, 33. E-mail: g.s.yur@nsawt.ru.

Дмитриев Александр Сергеевич, к.т.н., доцент кафедры судовых энергетических установок, доцент ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта». Адрес: 630099, Россия, Новосибирск, ул. Щетинкина, 33. E-mail: a.s.dmitriev@nsawt.ru.

About authors

Evgeny S. Gubin, Cand. Sci. (Eng), Associate Professor of the Department of Ship Power Plants of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education „Siberian State University of Water Transport“. Address: 33, Shchetinkina st., Novosibirsk, Russia, 630099. E-mail: e.v.gubin@nsawt.ru.

Igor V. Shvetsov, Training Master of the Department of Ship Power Plants of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education „Siberian State University of Water Transport“. Address: 33, Shchetinkina st., Novosibirsk, Russia, 630099. E-mail: ksdvs@nsawt.ru.

Gennady S. Yur, Cand. Sci. (Eng), Professor of the Department of Ship Power Plants, Professor of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education „Siberian State University of Water Transport“. Address: 33, Shchetinkina st., Novosibirsk, Russia, 630099. E-mail: g.s.yur@nsawt.ru.

Alexander S. Dmitriev, Cand. Sci. (Eng), Associate Professor of the Department of Ship Power Plants of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education „Siberian State University of Water Transport“. Address: 33, Shchetinkina st., Novosibirsk, Russia, 630099. E-mail: a.s.dmitriev@nsawt.ru.

Поступила / Received: 22.10.24
Принята в печать / Accepted: 05.02.25
© Коллектив авторов, 2025